

УДК 550.834

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.102.03>Людмила СКАКАЛЬСЬКА, канд. фіз.-мат. наук, мол. наук, співроб.
e-mail: Skakalska.sbigph@gmail.com

Карпатське відділення Інституту геофізики імені С.І. Субботіна НАН України, Львів, Україна

Андрій НАЗАРЕВИЧ, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук, співроб.

e-mail: nazarevych.a@gmail.com

Карпатське відділення Інституту геофізики імені С.І. Субботіна НАН України, Львів, Україна

Володимир КОСАРЧИН, канд. фіз.-мат. наук, доц.

e-mail: volcos@ukr.net

Львівський національний університет природокористування, Дубляни, Україна

ОЦІНКИ ТРІЩИНУВАТОСТІ ТА ПРОНИКНОСТІ ПОРІД У РОЗРІЗАХ СВЕРДЛОВИН ЗА ПРОГНОЗНОЮ МЕТОДИКОЮ

*(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Карпенком)**Розглянуто способи вивчення петрофізичних характеристик порід із застосуванням розробленої теоретико-емпіричної методики прогнозування нафтогазоносності розрізів свердловин та результати її використання.**У рамках прогнозної методики додатково розроблено способи визначення ряду важливих петрофізичних характеристик порід у розрізах свердловин. Зокрема, за індикатором розкритості тріщин (параметр Q_{side}) оцінено тріщинуватість та проникність порід, за об'ємною густиною та швидкостями пружних об'ємних хвиль – міцність порід, за набором петрофізичних параметрів, включно з густиною твердої фази порід, у прошарках визначено їх типи. Наведено і коротко проаналізовано результати визначення цих параметрів у розрізах свердловин 1-Ліщинської та 4-Північно-Заріччянської.***Ключові слова:** розріз свердловини, прогнозування нафтогазоносності, теоретико-емпірична методика, тип породи прошарку, швидкості пружних об'ємних хвиль, міцність порід, тріщинуватість, проникність.

Вступ

Однією з можливостей нарощування енергетичного потенціалу України є пошуки нових родовищ вуглеводнів, у тому числі родовищ газу ущільнених порід, газоконденсату, сланцевих газу і нафти, метану вугільних родовищ та ін. (Крупський та ін., 2019; Михайлов та ін., 2022; Нова енергія, 2022). У напрямку вирішення цього завдання ми розробили теоретико-емпіричну методику прогнозування нафтогазоносності розрізів свердловин за даними акустичного (АК) та інших каротажів. Подальший розвиток створеної методики дає змогу визначати ряд важливих петрофізичних характеристик порід у розрізах свердловин. Зокрема, розроблено способи: оцінки тріщинуватості та проникності порід за індикатором розкритості тріщин – параметром Q_{side} , визначення типів порід у прошарках розрізів – за густиною їх твердої фази, міцності порід – за об'ємною густиною та швидкостями пружних об'ємних хвиль (V_s , V_p). Так, запропонований спосіб оцінки тріщинуватості та проникності порід за індикатором розкритості тріщин (параметр Q_{side}) не вимагає додаткових спеціальних досліджень, як ряд інших відомих методів (Вижива та ін., 2006; Продай-вода та ін., 2011; Гасеми, Баяк, 2018; Карпенко, 2005), а дає можливість оцінити ці важливі для подальшої ефективної експлуатації досліджених свердловин параметри за даними стандартного акустичного каротажу в рамках створеної нами прогнозної методики (Скакальська, 2014, 2021; Скакальська, Назаревич, 2015, 2016; Скакальська та ін., 2017, 2018; Skakalska et al., 2021).

Методика. Розроблена нами теоретико-емпірична методика прогнозування нафтогазоносності порід розрізів свердловин за даними каротажу та кернових досліджень (Скакальська, 2014, 2021; Скакальська, Назаревич, 2015, 2016; Скакальська та ін., 2017, 2018; Skakalska et al., 2021) побудована як система теоретичних та емпіричних співвідношень із залученням даних акустичного каротажу та кернових досліджень, що об'єднано у відповідний прогнозний функціонал. Теоретичні залежності між пружними параметрами гірських порід виведено з урахуванням впливу тиску (глибини), пористості, нелінійної пружності, структурно-дисперсійних

особливостей гірських порід (шаруватості, мікропористості) з використанням теоретичних напрацювань Гасмана, Ешелбі, Вербицького та інших дослідників. Зокрема, в побудові математичного апарату методики взято за основу модель гірської породи Т.З. Вербицького, в якій виконуються базові умови теорії ефективних середовищ, механіки гірських порід, закони теорії пружності, тобто вона є надійною основою для побудови фізико-математичного апарату нашої методики прогнозування нафтогазоносності розрізів свердловин за даними АК і кернових досліджень, оскільки адекватно описує гірські породи.

Емпіричні залежності між фізичними та колекторськими характеристиками гірських порід побудовано з використанням параметричних баз даних порід-колекторів конкретних територій та геологічних структур, а саме, Західного нафтогазоносного регіону України (ЗНГР). Тип флюїду-заповнювача пор (вода, нафта, газ) у кожному досліджуваному прошарку породи прогнозується порівнянням результатів обчислення швидкостей за побудованими теоретичними та емпіричними залежностями з фактичними даними АК, за визначеною за методикою густиною заповнювача пор або за стисливістю породи. Також розроблено варіанти прогнозної методики з використанням даних гамма-каротажу, електричного каротажу або офсетних даних. Для реалізації прогнозної методики побудовано загальні алгоритми розрахунків та алгоритми роботи окремих програмних модулів, розроблено відповідне програмне забезпечення в середовищах Fortran, C# та Excel (Скакальська та ін., 2017; Скакальська, 2021).

У розробленій авторами прогнозній методиці передбачено розрахунок пористості, швидкостей об'ємних хвиль та набору пружних параметрів для кожного досліджуваного прошарку розрізу свердловини (Скакальська, 2014, 2021; Скакальська, Назаревич, 2015, 2016; Скакальська та ін., 2017, 2018; Skakalska et al., 2021). Під час практичного застосування методики до розрахунків залучається значний обсяг апріорної петрофізичної інформації – дані кернових досліджень по конкретній свердловині (за наявності), по сусідніх свердловинах із врахуванням міжсвердловинної кроскореляції, по

досліджуваній площі, родовищу, території. Додатково, у разі потреби, до досліджень залучаються дані інших каротажних методів по цій свердловині і різні петрофізичні та статистичні (кореляційні) залежності (Скакальська, 2021; Скакальська та ін., 2018; Skakalska et al., 2021).

Тестування методики і програмно-алгоритмічного комплексу проведено на реальних даних розрізів ряду свердловин нафтогазоносних структур ЗНГР – Бучацької, Залужанської, Зарічнянської, Орховицької, Никловицької, Ліщинської та ін. (рис. 1). Отримано значення

пружних і колекторських характеристик із хорошим узгодженням з даними інших досліджень, наприклад, для коефіцієнта пористості порід – до 94 %; відхилення величин, розрахованих засобами методики швидкостей пружних хвиль від даних АК, отримано в середньому 4,73 %; тип заповнювача пор у кожному прошарку порід у розрізах тестованих свердловин збігся з даними ГДС (Скакальська, 2021; Куровець та ін., 2009, 2010, 2014).

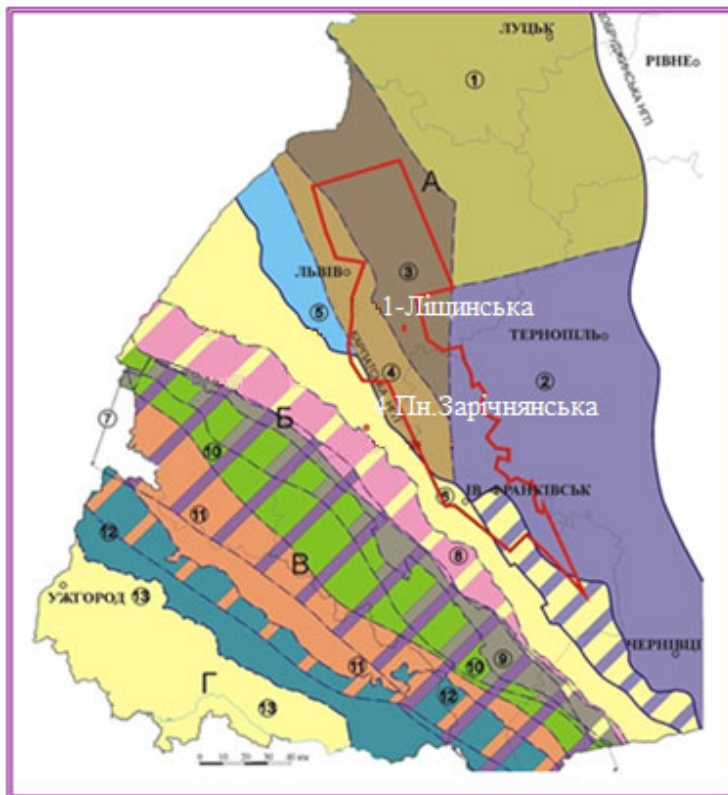


Рис. 1. Локалізація досліджених свердловин на карті-схемі тектоніки Західного нафтогазоносного регіону України за даними ЛВ УкрДГРІ

За допомогою визначених величин пористості для шарів і прошарків із спрогнозованим флюїдом пор виходимо на потенційну оцінку продуктивності такого інтервалу розрізу свердловини.

До цього зауважимо, що отримані за результатами наших досліджень великі величини пористості окремих прошарків відображають тріщини чи мезомасштабні тріщинуваті зони (часто субгоризонтальні). Це є одним із цінних для подальшої ефективної експлуатації досліджених свердловин результатів застосування наших методик і підходів з розбиттям розрізу свердловини на умовні прошарки відповідно до кроку за глибиною даних АК, що дає можливість диференційовано визначати характеристики кожного прошарку, не нівелюючи їх за рахунок впливу характеристик сусідніх прошарків.

Також слід відзначити, що певні труднощі під час інтерпретації даних АК викликає проблема надійного врахування впливу на результати каротажу зони проникнення промивної рідини. Не заглиблюючись тут у цю проблематику, яка вимагає спеціального окремого детального розгляду, вкажемо, що створена авторами прогнозна методика об'єднує кілька способів уточненого визначення пористості порід і прогнозування типу флюїду – заповнювача пор з урахуванням відповідних

поправок (за різницю між лабораторними визначеннями пористості порід і пористістю їх за АК, за глинистість порід та ін.), і дає змогу надійно розрізняти тип флюїдозаповнення, навіть за відносно невеликої "активної" (заповненої "рідним" первинним флюїдом) пористості, як-то у випадку заміщення для значної частини відкритих пор "рідного" первинного флюїду промивною рідиною. Це досягається завдяки тому, що акустичні хвилі проходять через весь зондований об'єм породи і несуть інформацію про тип флюїдозаповнення всіх зустрінутих на своєму шляху пор (зокрема, і тих, у яких залишився "рідний" первинний флюїд).

У процесі подальшого розвитку прогносної методики розроблено способи визначення ряду важливих петрофізичних характеристик порід у розрізах свердловин, які викладено нижче.

Оскільки у методиці розраховуються значення параметра V_s/V_p та коефіцієнта Пуассона (Скакальська, Назаревич, 2016; Skakalska et al., 2021), то, з використанням підходів А. Тимурзієва (Тимурзієв, 1991), ці результати додатково застосовано для розрахунку коефіцієнта розкритості тріщин – параметра Q_{side} , а, отже, далі, за значеннями Q_{side} маємо можливість оцінювати тріщинну пористість та проникність порід прошарків

розрізу свердловини (Шашенко та ін., 2003), наприклад, прошарки з закриванням тріщин визначаємо за перепадом тисків, особливостями переходу (трансформації) гірського тиску в боковий.

Спосіб визначення тріщинуватості та проникності порід за індикатором розкритості тріщин – параметром Q_{side} .

Коефіцієнт бокового розпору Q_{side} визначається як коефіцієнт пропорційності у відношенні бокового тиску до гірського, тобто є індикатором розкритості тріщин (Тимурзієв, 1991; Шашенко та ін., 2003; Попов, 2013):

$$Q_{side} = P_{\text{боковий}} / P_{\text{гірський}}.$$

За формулою А.Н. Динника (Шашенко та ін., 2003) коефіцієнт бокового розпору визначається так:

$$Q_{side} = v / (1 - v),$$

де v – коефіцієнт Пуассона, його отримуємо в результаті розрахунків за методикою.

Оцінки тріщинної пористості – основи фільтраційної системи порід-колекторів – виконуються аналітично та на графіках за зміною параметра V_s/V_p , за високим коефіцієнтом пористості у тонких прошарках породи та високою стисливістю, оскільки ці фізичні характеристики середовища взаємопов'язані (Скакальська, 2021):

$$\frac{V_s}{V_p} = \sqrt{\frac{0,5 - v}{1 - v}}, \quad v = \left[0,5 - \left(\frac{V_s}{V_p} \right)^2 \right] / \left[1 - \left(\frac{V_s}{V_p} \right)^2 \right],$$

$$v = \frac{Q_{side}}{1 + Q_{side}}.$$

Тоді, за розрахованими засобами прогнозу методикою значеннями коефіцієнта Пуассона v чи параметра V_s/V_p (спрогнозованими даними швидкостей об'ємних хвиль) формулу А.Н. Динника для розрахунку коефіцієнта Q_{side} отримуємо таку:

$$Q_{side} = 1 - 2 \cdot \left(\frac{V_s}{V_p} \right)^2.$$

Зазначимо, що оцінки за описаним способом величини відкритої пористості дають змогу певним чином розв'язати згадану вище проблему впливу на результати АК зони проникнення промивної рідини. Завдяки оцінкам (разом з визначеннями за методикою загальної пористості порід прошарків) можна оцінити прогнозний ступінь заміщення первинного флюїду промивною рідиною і ввести відповідні коректувальні коефіцієнти – поправки при прогнозуванні типу флюїдонасичення як за стисливістю порід, так і за швидкостями пружних хвиль чи розрахованою густиною флюїду, що заповнює пори. Поглиблене вивчення цих питань буде предметом наших подальших досліджень.

Спосіб визначення типу породи за густиною її твердої фази ρ_T та оцінки міцності порід.

Нагадаємо, що для математичного апарату нашої прогнозної методики будуються конкретні емпіричні співвідношення зв'язку характеристичних параметрів порід-колекторів за експериментальними даними для конкретних досліджуваних територій. У процесі досліджень для основного досліджуваного у методиці параметра – стисливості – побудовано уточнені емпіричні залежності від пористості та діючого тиску (глибини) з мультиплікативною складовою для тиску і пористості. Це дало змогу отримувати уточнені значення стисливості та пористості для породи кожного досліджуваного прошарку (Скакальська, 2021; Skakalska et al., 2021),

а тим самим – стисливості та густини твердої фази для породи прошарку.

Значення густини твердої фази порід ρ_T , виходячи з даних прогнозування, визначаємо за формулою

$$\rho_T = \frac{\rho^o - \frac{\phi}{100} \cdot \rho_{fl}}{1 - \frac{\phi}{100}},$$

де ρ^o , ρ_{fl} – густини: об'ємна та флюїду пор, ϕ – пористість породи прошарку.

За густиною твердої фази породи, а у складних випадках – за набором розрахованих параметрів (пористість, об'ємною густиною та густиною твердої фази), для порід прошарків визначаємо їх типи порівнянням з даними лабораторних петрофізичних досліджень. Для конкретних свердловин отримано узгодження наших результатів (у т. ч. наведених нижче) з даними ГДС (Куровець, 2010; Куровець та ін., 2014).

Для оцінки міцності порід розрізів свердловин використовуємо модуль зсуву μ : $\mu = V_s^2 \cdot \rho^o$, порівнюючи його значення, отримані за методикою, з максимальними значеннями лабораторних визначень тиску прориву вуглеводнів через водонасичені породи для умов залягання відповідного прошарку в розрізі (глибин, тисків, температур). Результати цих досліджень є важливими, зокрема у застосуванні методик гідророзриву пласта.

Приклади визначення петрофізичних характеристик порід розрізів свердловин.

1. *Свердловина 1-Ліщинська, інтервал розрізу 2020–3540 м.* Для дослідженого інтервалу глибин використано дані АК для 308 прошарків (з різним кроком за глибиною). За теоретико-емпіричною прогнозуною методикою інтервал 2020–2150 м визначено як практично непроникний. З 2150 м пористість зростає з 1,5 % до 6–7 %, що свідчить про наявність тут малопроникних колекторів (рис. 2). Інтервал 2500–3540 м спрогнозовано продуктивним газонасиченим (пористість близько 10 % і вище). Зафіксовано ряд високопроникних (з пористістю вище 25 %) прошарків, перспективних для високого припливу вуглеводнів. Загалом спрогнозовано 286 прошарків з газом (57 шарів завтовшки від 1 до 25 м), десять шарів з водою (товщина від 3 до 15 м) та 17 практично непроникних, з пористістю до 1,5 %.

Узагальнені результати розрахунку петрофізичних характеристик порід розрізу св. 1-Ліщинська наведено в табл. 1 і графічно подано на рис. 2.

Визначені величини густин порід у прошарках лежать у межах 1581,7÷2678,6 кг/м³, густини, характерні для алевритів – від 1581,7÷2600 кг/м³, а 2250÷2678,6 кг/м³ – характерні для пісковиків. Значення швидкостей (колонки 2 і 3 табл. 1 – лежать у межах 2830÷6731 м/с для V_p , 1748÷3826 м/с для V_s) та густин твердої фази порід прошарків (колонки 5 і 6 табл. 1 – лежать у межах 2669,51÷2699,12 кг/м³) підтверджують типи порід – аргіліти / пісковики на досліджуваному інтервалі розрізу.

Виявлено значну залежність модуля зсуву від пористості: модуль зсуву (як і міцність породи) значно зростає зі зменшенням пористості, зокрема, для прошарків-екранів (рис. 2). Корелюють величини коефіцієнта розкритості тріщин та коефіцієнта Пуассона (рис. 2, в); також аналіз результатів показав, що наявний додатковий вплив на ці величини інших, врахованих у методиці параметрів (тиски – навантаження, густини – тип породи).

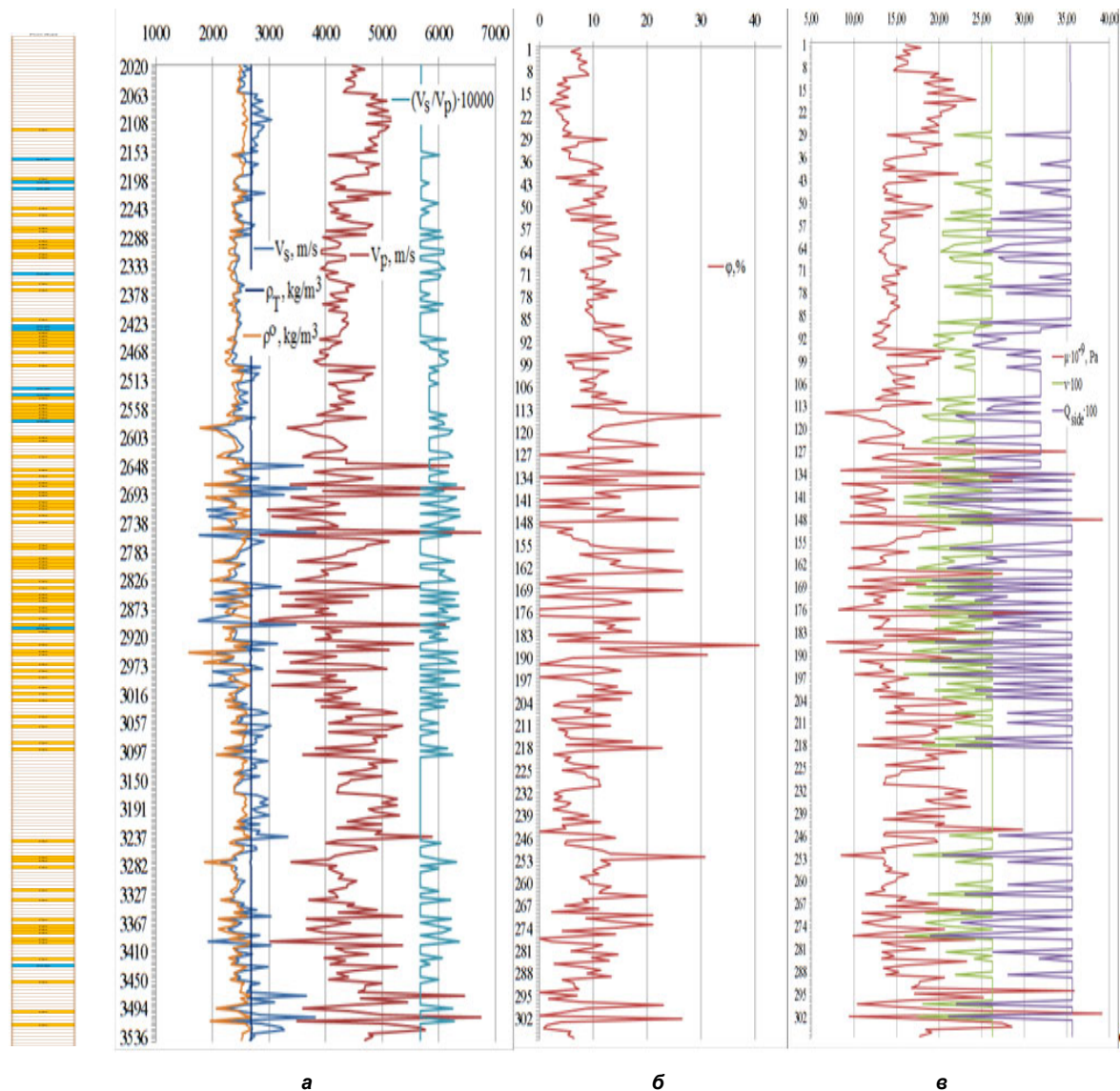


Рис. 2. Прогноз за методикою для прошарків розрізу свердловини 1-Ліщинська: типу заповнювача пор (практично непроникні породи – білим, із заповнювачем пор газом – жовтим, з водою – голубим), швидкостей об'ємних хвиль (V_s та V_p) і густин об'ємної та твердої фази породи (ρ^0 та ρ_T) (а); пористості (ϕ) (б); модуля зсуву μ , коефіцієнта Пуассона ν , коефіцієнта розкритості тріщин Q_{side} (в)

Таблиця 1

Узагальнені результати розрахунку петрофізичних характеристик порід розрізу св. 1-Ліщинська

1-Ліщинська	ϕ , %	V_p , м/с	V_s , м/с	V_s/V_p	ρ^0 , кг/м ³	ρ_T , кг/м ³	μ , Па·10 ⁻¹¹	Q_{side}	ν	Тип породи
Максимальне	40,75	6741,57	3826,18	0,64	2678,60	2699,12	0,39	0,36	0,26	Аргіліти, пісковики
Мінімальне	0,09	2830,19	1748,35	0,57	1581,70	2669,51	0,07	0,19	0,16	
Середнє	9,57	4396,54	2550,81	0,58	2423,59	2679,95	0,16	0,32	0,24	

2. Свердловина 4-Північно-Зарічянська, інтервал розрізу 3-1190 м. Для дослідженого інтервалу глибин використано дані з las-файлів – дані ГК, також дані методу ПС і дані офсетів – три варіанти даних для 429 прошарків (з різним кроком за глибиною). Узагальнені

результати розрахунку петрофізичних характеристик порід розрізу св. 4-Північно-Зарічянська за теоретико-емпіричною прогнозною методикою наведено в табл. 2 і графічно подано на рис. 3.

Таблиця 2

Узагальнені результати розрахунку петрофізичних характеристик порід розрізу св. 4-Північно-Зарічянська

4-Північно-Зарічянська	ϕ , %	V_p , м/с	V_s , м/с	V_s/V_p	ρ^0 , кг/м ³	ρ_T , кг/м ³	μ , Па·10 ⁻¹¹	Q_{side}	ν	Тип породи
Максимальне	41,73	4721,19	2751,74	0,69	2681,70	3113,90	8,87	0,94	0,49	Пісковики, алевроліти
Мінімальне	8,97	713,52	362,81	0,30	1861,70	2429,62	0,43	0,21	0,17	
Середнє	27,28	3819,26	2259,41	0,60	2552,26	2762,40	3,72	0,67	0,40	

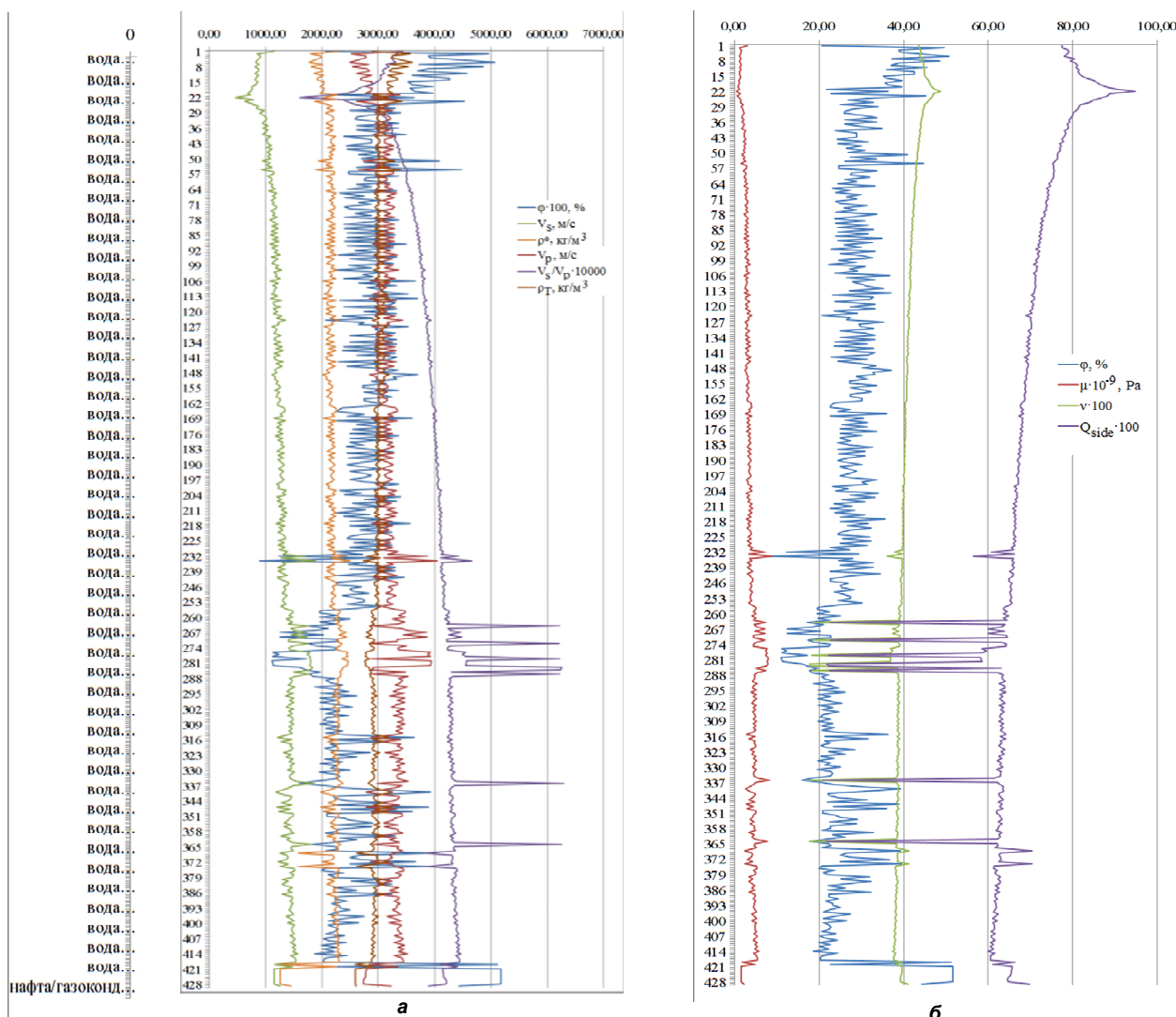


Рис. 3 Розрахунок за прогнозною методикою для прошарків розрізу свердловини 4-Північно-Зарічннська: типу заповнювача пор, пористості (ϕ), швидкостей об'ємних хвиль (V_s та V_p), параметра V_s/V_p , густин об'ємної та твердої фази породи (ρ^s та ρ_T) (а); пористості (ϕ), модуля зсуву μ , коефіцієнта Пуассона ν , коефіцієнта розкритості тріщин Q_{side} (б)

Інтервал 3÷1099 м визначено обводненим, інтервал 1099,5÷1190 м – з прогнозним флюїдом-заповнювачем пор – нафтою/газоконденсатом (12 прошарків). Визначена загальна пористість змінюється в межах 8,97÷41,73 %, що свідчить про наявність тут колекторів.

Визначені величини густин порід у прошарках лежать у межах 1861,7÷2681,7 кг/м³ і характерні для алевролітів та пісковиків. Значення швидкостей (колонки 2 і 3 табл. 2) лежать у межах 713÷4721 м/с для V_p , 362÷2751 м/с для V_s , густин твердої фази порід прошарків (колонки 5 і 6 табл. 2), в основному лежать у межах 2429,62÷2762,40 кг/м³ і підтверджують типи порід – алевроліти / пісковики.

Для порід розрізу спрогнозовано коливання значень модуля зсуву в межах $0,43 \cdot 10^{11}$ ÷ $8,87 \cdot 10^{11}$ Па, за середнього значення – $3,72 \cdot 10^{11}$ Па, коефіцієнта Пуассона 0,17÷0,49, коефіцієнта розкритості тріщин 0,21÷0,94; для прошарків зі спрогнозованим заповнювачем пор – газоконденсатом, пористість отримано в середньому близько до 29 %. Виявлено, що у прошарках з газом коефіцієнт Пуассона значно (майже удвічі) менший від такого у прошарках із заповнювачем пор – водою.

Висновки

В рамках розвитку створеної теоретико-емпіричної методики прогнозування нафтогазоносності порід розрізів

свердловин розроблено способи визначення ряду важливих петрофізичних характеристик порід у цих розрізах. Зокрема, за індикатором розкритості тріщин – параметром Q_{side} , оцінено тріщинуватість та проникність порід, за об'ємною густиною та швидкостями пружних об'ємних хвиль – міцність порід, за набором петрофізичних параметрів включно з густиною твердої фази порід у прошарках визначено їх типи. Наведено і коротко проаналізовано результати визначення цих параметрів у розрізах двох свердловин: 1-Ліщинської та 4-Північно-Зарічннської.

Показано, що засобами теоретико-емпіричної методики можливо оцінювати розкритість тріщин, а отже, проникність порід розрізу свердловини. Це дає змогу оцінювати потенційну продуктивність конкретних інтервалів розрізів свердловин, а також можливість відновлення продуктивності за рахунок надходження вуглеводнів з глибини, враховуючи виявлені впродовж останніх десятиріч випадки відновлення запасів на низці відпрацьованих родовищ, що підтверджує гіпотезу безперервного "газового дихання Землі" (Лепігов та ін., 2012).

Одним із подальших напрямів наших досліджень буде врахування впливу глибинних температур на петрофізичні характеристики порід розрізів свердловин.

Список використаних джерел

- Вижва, С.А., Продайвода, Г.Т., Безродна, І.М. (2006). Петрофізичні дослідження як основа для розробки моделі структури пустотного простору складнопобудованих карбонатних порід-колекторів. *Зб. наук. праць "Перспективи нагромадження та збереження енергетичних ресурсів України"*. Факел, 110–121.
- Гасеми, М.Ф., Байук, І.О. (2018). Петроупругое моделирование карбонатных пород-коллекторов с использованием модели двойной пористости. *Экспозиция Нефть Газ*, 65, 5, 21–25.
- Карпенко, О.М. (2005). Науково-методичні засади оцінки ємнісних властивостей порід тонкошаруватих розрізів родовищ вуглеводнів за даними геофізичних досліджень. Дис. ... д-ра геол. наук: 04.00.22. Івано-Франківський національний технічний ун-т нафти і газу.
- Крупський, Ю.З., Марусяк, В.П. (2019). Минулі результати і подальші перспективи західного нафтогазоносного регіону України. *Нафтогазова агауза України*, 4, 6–10.
- Куровець, І.М. (2010). Геолого-петрофізична характеристика басейнових дрібнозернистих порід силуру південно-західного краю Східноєвропейської платформи. *Збірник наукових праць ІГН НАНУ*, 3, 287–293.
- Куровець, І.М., Питулка, Г.І., Шира, А.І., Шуфляк, Ю.Є. (2009). Загальна характеристика петрофізичних властивостей порід донеогенової основи Зовнішньої зони Передкарпатського прогину. *Геоінформатика*, 48–55.
- Куровець, І.М., Сеньковський, І.М., Михайлов, В.А., Дригант, Д.М., Крупський, Ю.З., Гладун, В.В., Чепіль, П.М., Гулій, В.М., Куровець, С.С., Шлапінський, В.С., Шлапінський, Ю.В., Колтун, Ю.В., Чепіль, В.П., Бодлак, В.П. (2014). Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Книга II. Західний нафтогазоносний регіон. Ніка-Центр.
- Лепігов, Г., Гулій, В., Локтев, А., Манюк, М., Гоптарьова, Г. (2012). Нафта Передкарпаття. *Геолог України*, 3, 66–77.
- Михайлов, В.А., Вижва, С.А., Крупський, Ю.З., Куровець, І.М., Коваль, А.М., Касянчук, С.В., Вакарчук, С.Г., Харченко, М.В. (2022). Перспективи нагромадження ресурсної бази вуглеводнів України за рахунок нетрадиційних джерел. <http://www.kdpu-nt.gov.ua/uk/content/perspektyvy-naroshchuvannya-resursnoyi-bazy-vuglevodniv-ukrayiny-za-rahunok-netradyciynih>
- Нова енергія. (2022). Показники нових бізнес-напрямів для забезпечення переходу від видобувної компанії до національної енергетичної платформи. Показники за 2021 рік. Отримано 19.09.2022 з <https://www.naftogaz.com/business/new-energy-business-unit>
- Попов, А.Н., Головкина, Н.Н., Исмаков, Р.А., Попов, М.А. (2013). Способ определения статистических характеристик коэффициента бокового распора пласта пористой горной породы. *Патент РФ 184232*.
- Продайвода, Г.Т., Вижва, С.А., Безродна, І.М., Продайвода, Т.Г. (2011). Геофізичні методи оцінки продуктивності колекторів нафти і газу. ВПЦ "Київський університет".
- Скакальська, Л.В. (2014). Прогнозирование физических и коллекторских свойств пород-коллекторов для поиска нетрадиционного газа. *Ежемесячный научный журнал "SOCAR Proceedings"*, 1, 4–10. DOI: 10.5510/OGP.20140100182.
- Скакальська, Л.В., Назаревич, А.В. (2015). Прогнозування нафтогазоводонасиченості порід різної літології та геодинамічного генезису у розрізах свердловин. *Геодинаміка*, 1(18), 102–119. DOI: 10.23939/jgd2015.01.099.
- Скакальська, Л.В., Назаревич, А.В. (2016). Узагальнені співвідношення для методики прогнозування водонафтогазонасиченості порід розрізів свердловин. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(72), 60–69.
- Скакальська, Л.В., Назаревич, А.В., Струк, Є.С. (2017). Алгоритми та програми обробки каротажних даних у прогнозуванні нафтогазоносності порід розрізів свердловин. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Комп'ютерні науки та інформаційні технології"*, 864, 210–221.
- Скакальська, Л.В., Назаревич, А.В., Косарчин, В.І. (2018). Теоретико-емпірична методика прогнозування вуглеводнів у розрізах свердловин з базовим параметром – стисливістю. *Мінеральні ресурси України*, 4, 18–25. DOI: 10.31996/mru.2018.4.18–25.
- Скакальська, Л.В. (2021). Прогнозування пружних характеристик та нафтогазоводонасиченості порід у розрізах свердловин за даними акустичного каротажу і кернових досліджень. Автореф. дис. ... канд. фіз.-мат. наук. ІГФ НАН України.
- Тимурзієв, А.І. (1991). Способ оценки экранирующих свойств горных пород. *Патент АС СССР 1676359*. Класс G 01V1/40. Зареєстровано в Госреестре изобретений 08.05.1991. Приоритет изобретения 26.09.88.
- Шашенко, А.Н., Пустовойтенко, В.П. (2003). Механика горных пород. Новый друк.
- Skakalska, L., Nazarevich, A., Kosarchyn, V. (2021). The theoretical-empirical technique of hydrocarbons prediction in wells sections. New aspects. *Геофизический журнал*, 43, 1, 160–180. DOI: 10.24028/gzh.0203-3100.v43i1.2021.225545.
- Skakalska, L., Nazarevich, A., Kosarchyn, V. (2021). The theoretical-empirical technique of hydrocarbons prediction in wells sections. New aspects. *Geophys. Journal*, 43, 1, 160–180. DOI: 10.24028/gzh.0203-3100.v43i1.2021.225545.
- Skakalska, L.V. (2014). Prediction of physical and reservoir properties of reservoir rocks for the search for unconventional gas. *Monthly scientific journal "SOCAR Proceedings"*, 1, 4–10. DOI: 10.5510/OGP.20140100182 [in Russian].
- Skakalska, L.V. (2021). Prediction of the elastic properties and oil-gas-water-saturation of rocks in wells sections according to data of acoustic logging and core' researches. *Extended abstract of candidate's thesis (Phys.-Math.)*. IGF of NAS of Ukraine [in Ukrainian].
- Skakalska, L.V., Nazarevich, A.V. (2015). Prediction of oil and gas oversaturation of rocks of different lithology and geodynamic genesis in well sections. *Geodynamics*, 1(18), 102–119. DOI: 10.23939/jgd2015.01.099 [in Ukrainian].
- Skakalska, L.V., Nazarevich, A.V. (2016). Generalized relations for the method of Predicting the water-oil-gas saturation of rocks of well' sections. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(72), 60–69 [in Ukrainian].
- Skakalska, L.V., Nazarevich, A.V., Kosarchyn, V.I. (2018). Theoretical-empirical technique for predicting hydrocarbons in well sections with the basic parameter – compressibility. *Mineral resources of Ukraine*, 4, 18–25. DOI: 10.31996/mru.2018.4.18–25 [in Ukrainian].
- Skakalska, L.V., Nazarevich, A.V., Struk, E.S. (2017). Algorithms and programs for processing logging data in predicting the oil and gas bearing capacity of well sections. *Bulletin of Lviv Polytechnic National University "Computer Sciences and Information Technologies"*, 864, 210–221 [in Ukrainian].
- Timurziev, A.I. (1991). Method of estimating shielding properties of rocks. *Patent AS USSR 1676359*. Class G 01V1/40. 3. Applicable to the State Register, invented on 05.08.1991. Priority of invention 26.09.88 [in Russian].
- Vyzhva, S.A., Prodayvoda, G.T., Bezrodna, I.M. (2006). Petrophysical studies as a basis for developing a model of the void space structure of complex carbonate reservoir rocks. *Collection of science works "Prospects for increasing and preserving the energy resources of Ukraine"*. Fakel, 110–121 [in Ukrainian].

Отримано редакцією журналу / Received: 04.03.23
Прорецензовано / Revised: 16.06.23
Схвалено до друку / Accepted: 31.08.23

Ludmyla SKAKALSKA, PhD (Phys. & Math.), Junior Researcher

e-mail: Skakalska.sbigph@gmail.com

Carpathian Branch of S. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine

Andriy NAZAREVICH, PhD (Phys. & Math.), Senior Researcher

e-mail: nazarevych.a@gmail.com

¹Carpathian Branch of S. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine

Volodymyr KOSARCHYN, PhD (Phys. & Math.), Assoc. Prof.

e-mail: volcos@ukr.net

Lviv National University of Nature Management, Dublyany, Ukraine

ESTIMATES OF FRACTURE AND PERMEABILITY OF ROCKS IN WELL SECTIONS ACCORDING TO THE PREDICTING METHOD

The article is devoted to highlighting the methods of studying the petrophysical characteristics of rocks using the developed theoretical-empirical method for predicting the oil and gas capacity of well sections and their results.

As a part of the predictive method, methods for determining a number of important petrophysical characteristics of rocks in well sections were additionally developed. In particular, cracking and permeability of rocks is estimated by the indicator of crack opening – the Q_{side} parameter, the strength of rocks is estimated by volume density and velocities of elastic bulk waves, and the types of rocks in layers are determined by a set of petrophysical parameters, including the density of the solid phase of rocks.

The determining results of these parameters in sections for wells 4-North-Zarichnyans'ka and 1-Lishchyns'ka, are given.

K e y w o r d s : well section, predicting of oil and gas capacity, the theoretical-empirical technique, a layer rock type, elastic bulk wave velocities, rock strength, fracturing, permeability.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.